



Ю.И. Тракало
О.В. Кузнецова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Екатеринбург
2015

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

ФГБОУ ВПО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра инновационных технологий и оборудования деревообработки

Ю.И. Тракало
О.В. Кузнецова

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА КОНВЕКТИВНОГО НАГРЕВАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Учебно-методическое пособие
по лабораторным занятиям
для студентов очной и заочной форм обучения
направления «Технология лесозаготовительных
и деревоперерабатывающих производств»

Екатеринбург
2015

Печатается по рекомендации методической комиссии ИЛБиДС.
Протокол № 2 от 09 октября 2014 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой МОД О.Н. Чернышев

Редактор Л.Д. Черных
Оператор компьютерной верстки Т.В. Упова

| | | | |
|-------------------------------|--------------|------|----------------|
| Подписано в печать 15.05.2015 | | | Поз. 15 |
| Плоская печать | Формат 60x84 | 1/16 | Тираж 10 экз. |
| Заказ | Печ. л. 0,7 | | Цена руб. коп. |

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

1. НАЗНАЧЕНИЕ РАБОТЫ

Целью работы является изучение механизма конвективного нагрева круглых или плоских сортиментов из древесины и приобретение навыков графо-аналитического метода расчёта процесса конвективного нагревания их.

2. ЗАДАНИЕ

2.1. Путём периодического измерения температуры на различных изотермических поверхностях по толщине сортимента проследить процесс нагревания его в горячей воде.

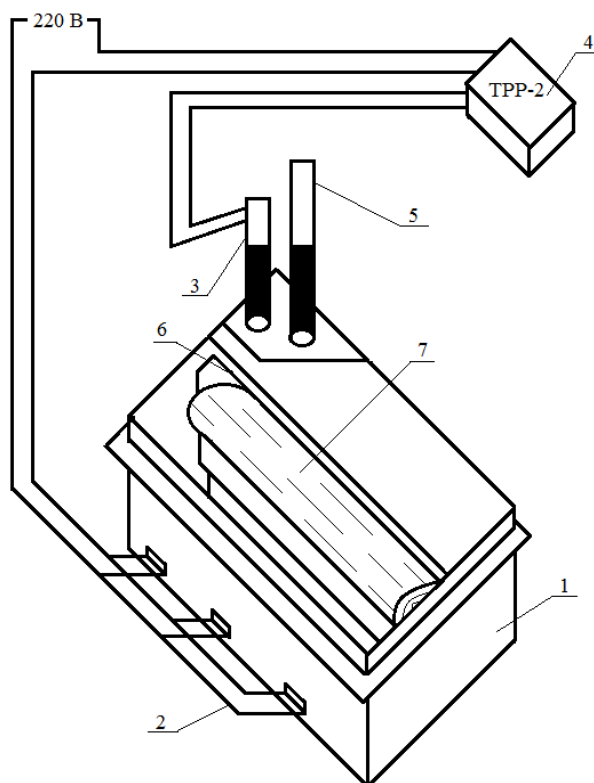
2.2. Провести графо-аналитический расчёт процесса нагревания сортимента по исходным данным опыта.

2.3. Построить графики изменения температуры на заданной глубине в зависимости от продолжительности нагревания как по результатам измерений в опыте, так и по результатам графо-аналитического расчёта.

2.4. Составить отчёт о выполненной работе, в котором дать анализ опытных и расчётных данных.

3. ОПИСАНИЕ ОПЫТНОЙ УСТАНОВКИ

Установка (рисунок) представляет собой металлическую теплоизолированную ванну 1, в нижней части которой размещены электрические нагреватели 2 для подогрева воды.



Установка для нагревания древесины

Регулирование температуры воды происходит с помощью контактного термометра 3, включённого в цепь терморегулятора 4 типа ТРР-2, который включает или отключает нагреватели. С помощью термометра 5 контролируется измерение температуры воды. Рамка 6 служит для фиксации исследуемого образца 7 в погружённом состоянии.

Для измерения температуры на поверхности и внутри сортимента 7 (рис. 2) из древесины, подвергаемого нагреванию, установка оснащена измерительной схемой, в составе которой в качестве датчиков температуры используется дифференциальные хромель-копелевые термопары 1, которые подключаются к потенциометру.

4. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

4.1. Подготовка исследуемого сортимента к работе

В опытах могут быть использованы образцы из древесины, представляющие собой либо бесконечную пластину (доска), либо бесконечный цилиндр (чурак).

При разделке сортимента на опытные образцы берётся один – три образца толщиной 10 мм вдоль волокон для определения начальной влажности по известной из курса древесиноведения методике.

После разделки опытный образец тщательно измеряется (пластина – по длине, толщине и ширине; цилиндр – по длине и диаметру). Результаты измерений записываются в журнал наблюдений (прил. 1).

В соответствии с заданием на лабораторную работу в приготовленном для использования сортименте высверливаются каналы на требуемую глубину и тщательно очищаются от стружки.

В отверстия вставляются спай термопар так, чтобы они достигли два высверленного канала. После разведения концов термопары в противоположные друг от друга стороны в отверстие на всю глубину сверления забивают калиброванную деревянную пробку из сухой древесины. Компенсационные провода, идущие от спая термопары, должны быть покрыты изоляцией. После подготовки опытного образца к работе термопары подключаются к клеммам измерительной схемы и измеряется начальная температура t_c воды в ванне, которая также записывается в журнал.

4.2. Проведение изменений температуры в процессе нагревания сортимента

После проведения подготовительных работ опытный образец помещается в ванну. При этом немедленно после погружения измеряется температура, начиная с той термопары, которая расположена ближе всего к поверхности.

Одновременно фиксируется температура воды в ванне и отмечается время начала эксперимента в журнале наблюдений. Далее все показания снимаются через 6 минут в течение 2,5 часов или до момента, когда в опытном образце температура в центре достигает заданной величины.

4.3. Обработка результатов опыта

Прежде всего необходимо заполнить колонки 4, 6, 8 журнала наблюдений с помощью таблицы перевода замеренных термо-э.д.с. в градусы (прил. 2).

Затем на листе миллиметровой бумаги следует построить графики измерения температуры в исследуемых слоях сортимента на протяжении процесса нагревания. Для этого на оси абсцисс откладывается время в масштабе 1 мин на 1 мм, а по оси ординат – шкала температуры в масштабе 1 °C на 5 мм.

5. ГРАФО-АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА НАГРЕВАНИЯ СОРТИМЕНТОВ

Одновременно с проведением опыта следует рассчитать изменение температуры t_x в процессе нагревания сортимента в тех точках, в которых находятся спайи термопар ($\frac{X}{R}; \frac{X}{R}; \frac{X}{R}$) в определённые моменты времени от начала прогрева. Температура на заданной глубине $\frac{X}{R}$ определяется по выражению

$$t_x = t_c - \theta(t_c - t_0), \quad (1)$$

где t_c – температура воды в ванне, °C ;

t_0 – температура сортимента до начала прогрева, °C ;

θ – безразмерная температура, определяемая по номограммам А.В. Лыкова (прил. 6,7) по безразмерным координатам ($\frac{X}{R}; \frac{X}{R}; \frac{X}{R}$) и величине критерия Фурье, который определяется по формуле

$$F_0 = \frac{a\tau}{R^2}, \quad (2)$$

где R – радиус чурака или половина толщины плоского сортимента, м;

τ – время от начала прогрева (сек), задаваемое следующими значениями: 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5 ч и далее через 0,5 до 2,5 ч. (по согласованию с преподавателем могут быть иные интервалы времени);

a – коэффициент температуропроводности сортимента, м²/с. Находится по формуле

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}, \quad (3)$$

где ρ – плотность древесины образца, прогреваемого в опыте, кг/м³, и определяется по прил. 2 по известным значениям $\rho_{бол.}$ (табл. 1) и влажности сортамента W .

Таблица 1

Средняя базисная плотность древесины некоторых пород (кг/м³)

| Порода | ρ | Порода | ρ |
|--------|--------|-------------|--------|
| Берёза | 500 | Сосна | 400 |
| Ель | 360 | Лиственница | 520 |
| Кедр | 350 | Ясень | 540 |

C – удельная теплоёмкость древесины. Определяется по диаграмме (прил. 2) по известной влажности древесины W и среднеарифметической температуре.

$$t_{op} = t_c + t_0;$$

λ – коэффициент теплопроводности древесины;

$$\lambda = \lambda_{ном} K_p K_x, \quad (4)$$

где $\lambda_{ном.}$ – коэффициент теплопроводности, определяемый по диаграмме (прил. 2) по влажности W и средне арифметической температуре $t_{op} = t_c + t_0$

K_p – поправочный коэффициент на $\rho_{бол.}$, принимается согласно табл. 2.

Таблица 2

| $\rho_{бол.}$ | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|
| K_p | 0,81 | 0,87 | 0,93 | 1,00 | 1,11 | 1,25 | 1,45 |

K_x - коэффициент, зависящий от направления теплового потока. Значения коэффициента K_x указаны в табл. 3.

Таблица 3

| Группа пород | Коэффициент K_x при направлении теплового потока | | |
|---|--|--------------------|--------|
| | радиаль- ном | танген- тальном | влокон |
| Хвойные | 1 | 1,0 | 2,2 |
| Лиственные с неразвитыми сердцевинными лучами | 1 | 1,0 | 2,0 |
| Лиственные с развитыми сердцевинными лучами (дуб, бук, клён и др) | 1 | 0,87 | 1,6 |

После проведённых расчётов по найденным значениям критериев Фурье следует по номограммам (прил. 3) для плоского сортимента и для круглого сортимента провести отсчёты безразмерных температур θ для заданных безразмерных координат $(\frac{X}{R}; \frac{X}{R}; \frac{X}{R})$. Затем, используя выражение (1), найти температуры t_x . Все расчётные данные удобно свести в табл. 4.

Таблица 4

Результаты расчётов температуры на различных глубинах сортимента при его нагревании от t_0 до t_c .

| Продолжительность нагревания, ч | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 3,5 |
| F_0 | | | | | | | | | | | |
| θ_{x1} | | | | | | | | | | | |
| θ_{x2} | | | | | | | | | | | |
| θ_{x3} | | | | | | | | | | | |
| t_{x1} | | | | | | | | | | | |
| T_{x2} | | | | | | | | | | | |

По данным табл. 4 следует построить графики развития температуры на той же миллиметровке, на которой нанесены экспериментальные температурные кривые, что весьма удобно для проведения анализа полученных опытным и расчётным путём графиков.

6. АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ И РАСЧЁТНЫХ ДАННЫХ РАБОТЫ И СОСТАВЛЕНИЕ ОТЧЁТА

Работу следует завершить отчётом, в котором приводится краткое описание и схема, журнал наблюдений, расчёты и свободная таблица их результатов и графики кривых температур, полученные опытным путём и расчётно-графическим методом.

Отчёт должен завершиться анализом, в котором следует отразить особенности опытных и теоретических данных.

ЖУРНАЛ НАБЛЮДЕНИЙ №

Опыт №

Образец: Порода

Плотность.....кг/м³

Размеры: длина.....мм

ширина.....мм

толщина.....мм

Влажность

Термопары заделаны в образец на глубину :

№ 1 - X₁=.....мм

№ 2 - X₂=.....мм

№ 3 - X₃=.....мм

| Вре- мя | Тем- пера- тура сре- ды, °С | Номера термопар и места их установок | | | | | | |
|----------------|---|--------------------------------------|---|----------|---|----------|---|--|
| | | № 1 х/R= | | № 2 х/R= | | № 3 х/R= | | При- меча- ние |
| | | | | | | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 0 ₁ | | | | | | | | 0 ₁ . замеры до погружения образца; 0 ₂ . замеры немедленно после погруже- ния образца |
| 0 ₂ | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | |
| 24 | | | | | | | | |

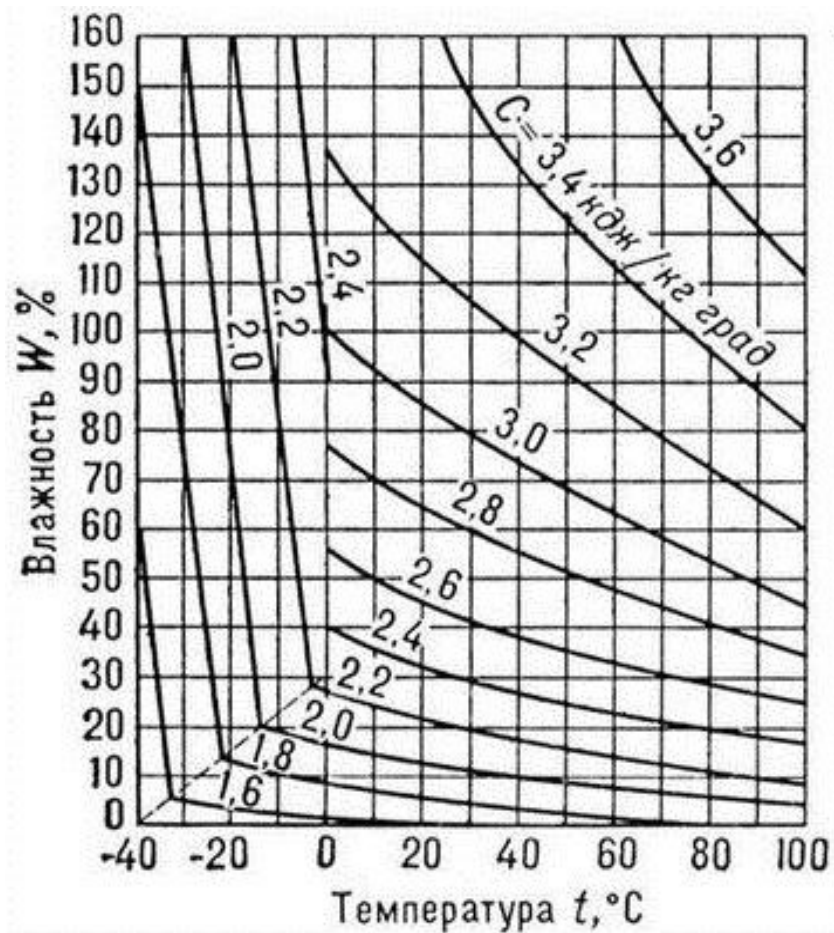


Диаграмма удельной
теплоемкости древесины

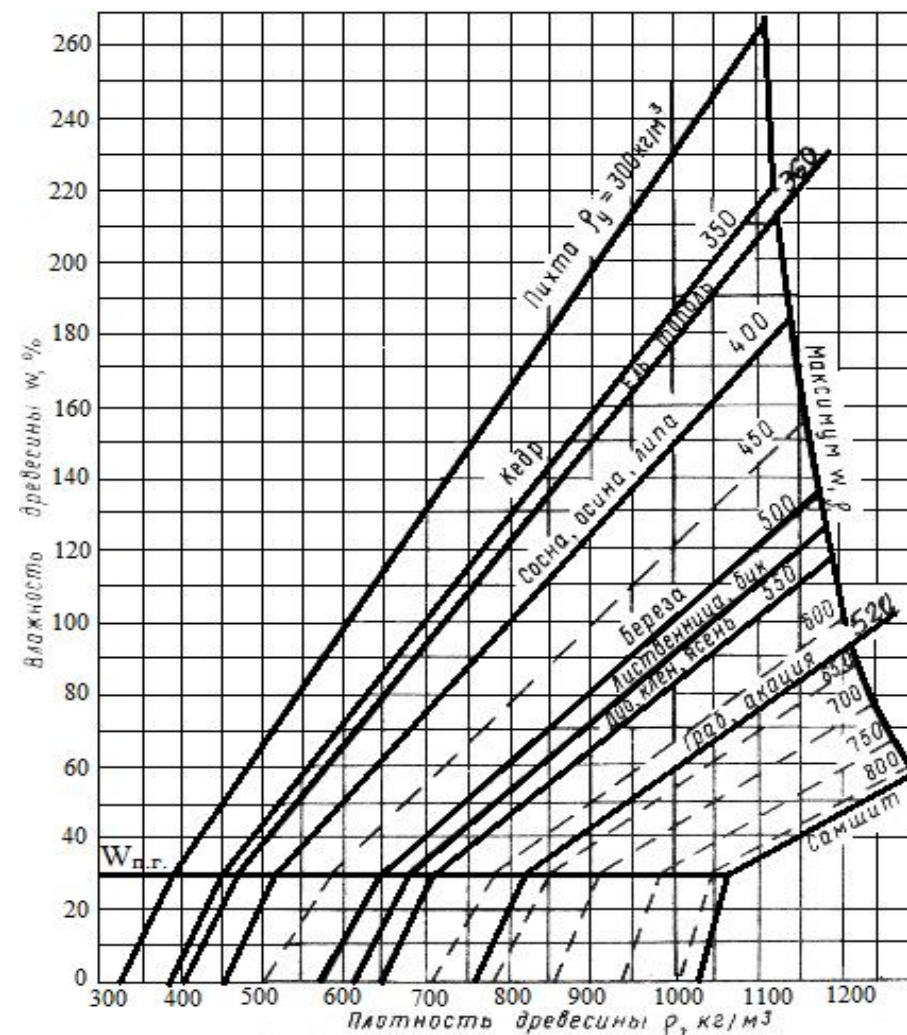
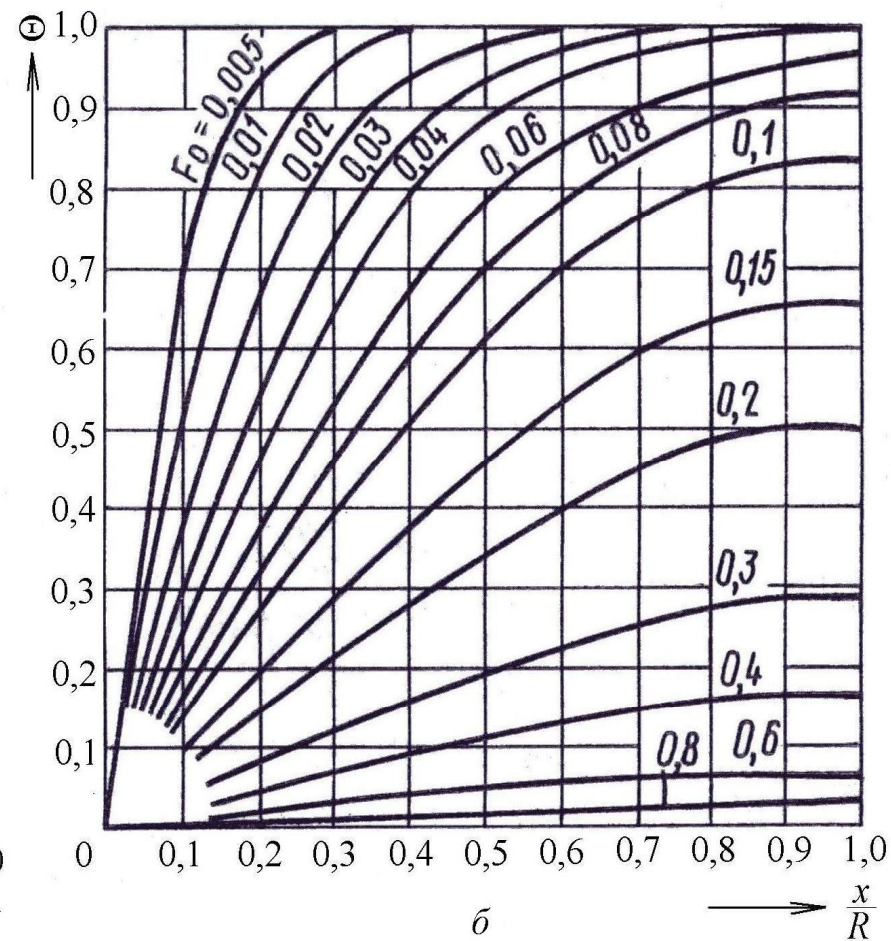
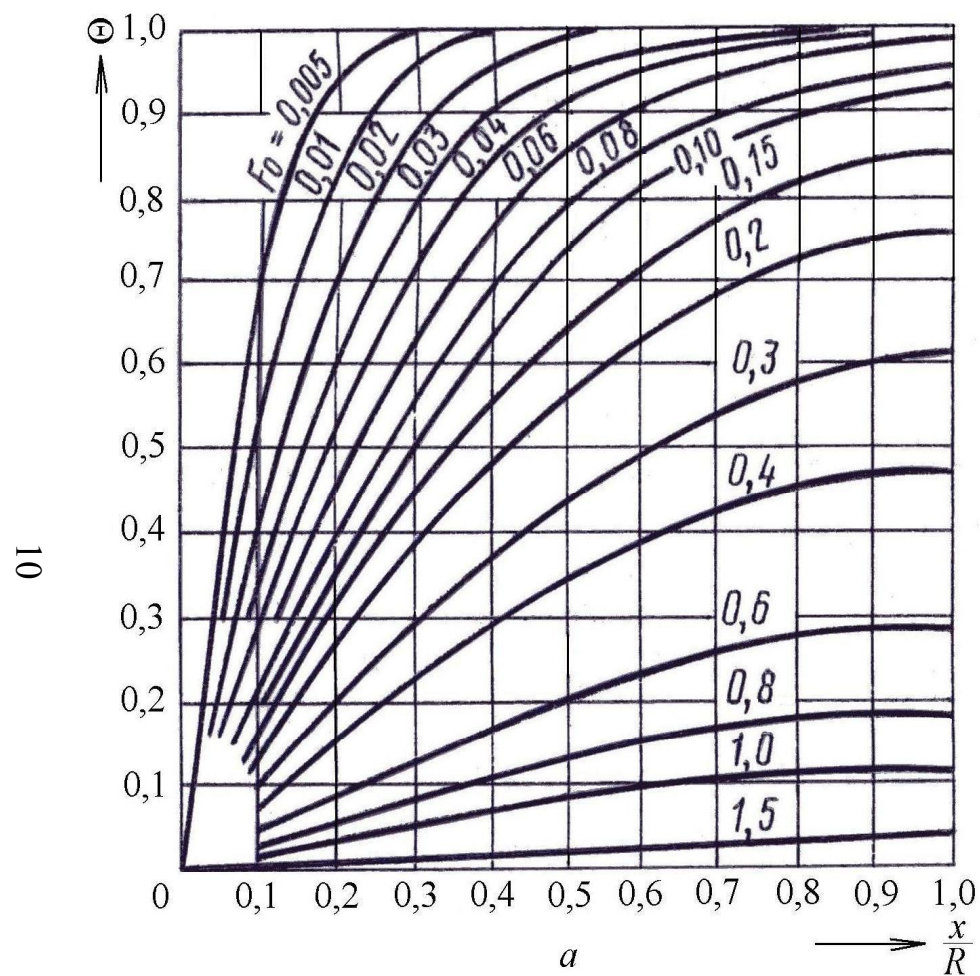


Диаграмма плотности древесины



Номограммы для определения критерия Фурье по значениям безразмерной координаты x/R и безразмерной температуры: а – для неограниченной пластины; б – для неограниченного цилиндра

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесн. пром.-сть, 1987. 360 с.
2. Рассев И.А. Сушка древесины, М.: Лань. 2010. 416 с.
3. Кречетов И.В. Сушка древесины: учеб. пособ. для студентов вузов. 4-е изд., М.: Бриз. 1997. 512 с.